

Cellulase 纖維素酶 (cellulase 中文) : 纖維素水解、紡織生物拋光、果汁澄清與生質糖化應用

Enzymes.bio 研究團隊 · 紐西蘭威靈頓 · June 21, 2026

Cellulase (纖維素酶 ; 常見搜尋寫法包含 cellulase 中文、cellulase中文) 是一組能水解纖維素 β -1,4 鍵的酵素系統，主要由內切型纖維素酶、外切型纖維素酶與 β -葡萄糖苷酶協同作用，把不溶性 cellulose 轉為較短寡糖、纖維二糖與葡萄糖。其核心價值不是「單一反應」，而是在紡織、食品果汁、紙漿、生質能、飼料與農業副產物處理中，降低植物細胞壁或棉纖維表層結構的阻力，提升後續加工效率與產品品質 [1]。

對 B2B 使用者而言，cellulase application 的成敗通常取決於基質型態、木質素與半纖維素干擾、pH / 溫度作業窗、混合效率，以及是否需要與 xylanase 或其他輔助蛋白協同，而非只看單一 cellulase activity 數字 [2]。

Cellulase 是什麼：不是單一酵素，而是纖維素降解系統

在技術文件中，cellulase enzyme 通常指能分解纖維素的酵素集合，而不是單一蛋白。纖維素由葡萄糖單元以 β -1,4 鍵連接而成，天然狀態下常形成高度有序的微纖維，並與半纖維素、木質素與果膠等成分交織；因此，cellulase function 必須同時面對化學鍵水解與固體表面可及性的限制 [3]。

典型 cellulase 系統可分為三類功能：endo-cellulase (內切型纖維素酶，亦稱 endoglucanase) 在纖維素鏈內部產生切口；外切型纖維素酶或 cellobiohydrolase 從鏈端逐步釋放纖維二糖； β -glucosidase 則將纖維二糖與短鏈寡糖轉為葡萄糖，減少纖維二糖累積造成的反應抑制 [1]。

這種「先打開、再剝離、最後轉糖」的協同機制，解釋了為何工業上常見 cellulase product 不是單一純化酵素，而是具有不同組成比例的酵素混合物。不同來源的 cellulase bacteria、真菌或重組酵素，會在熱穩定性、pH 適應性、吸附行為與基質偏好上呈現差異，這也是市場上會看到不同商品牌號與搜尋詞，例如 cellulase sigma、novozymes cellulase 或 cellulase ap3 的原因之一 [4]。

主要應用一覽：從 cellulose 到加工效益

應用領域	主要基質或問題	cellulase 的作用重點	常見效益	證據成熟度
紡織與牛仔布處理	棉纖維表面毛羽、布面粗糙、傳統石洗廢棄物	選擇性作用於棉纖維表層微纖維	改善手感、減少毛羽、協助生物石洗	高
果汁與植物食品加工	植物細胞壁限制出汁與過濾	分解細胞壁纖維素結構，降低固形物阻力	提高出汁率、改善澄清與過濾	中高
紙漿與再生紙	纖維束、脫墨與漿料流變	改變纖維表面與微纖維結構	協助脫墨、降低部分機械處理負荷	中高
生質糖化與生物煉製	農業殘渣、秸稈、木質纖維素	將前處理後 cellulose 轉為可發酵糖	支援乙醇、有機酸或生物基化學品製程	高
飼料與農副產物處理	高纖維原料、非澱粉多醣	降低細胞壁屏障，釋放可利用營養	改善原料利用率，效果依配方而定	中
有機廢棄物與堆肥	紙類、秸稈、果渣等纖維性廢棄物	加速纖維素分解步驟	縮短分解週期的潛力，受環境條件影響	條件性

這些應用的共同邏輯，是利用 cellulase 對 cellulose 的選擇性水解，讓原本被細胞壁、晶體區或纖維束保護的材料變得更容易被萃取、漂洗、發酵、過濾或機械處理。不過，實際效益通常是「酵素 + 製程」的結果；同一種 cellulase enzyme 放到不同原料、不同前處理或不同停留時間中，表現可能差異很大 [5]。

作用機制：cellulase 如何真正接觸並水解固體纖維素

1. endo-cellulase 打開纖維素鏈內部

endo-cellulase 的特色是能在纖維素鏈內部產生隨機切割，增加新的鏈端與可溶性片段。對棉、果渣或經前處理的農業殘渣而言，這一步像是把長而緊密的纖維素鏈打散，使後續外切型酵素更容易找到作用位置 [6]。

此機制也解釋了為什麼「cellulase substrate」不能只理解成化學上含有 cellulose 即可。即使化學成分相同，基質的結晶度、粒徑、孔隙、表面積與水分狀態都會改變酵素吸附與切割效率；近年的研究特別指出，基質結晶度、酵素結合強度與整體 cellulase activity 之間存在互相牽制的關係 [5]。

2. 外切型纖維素酶沿鏈端釋放纖維二糖

外切型纖維素酶通常沿著纖維素鏈端逐步移動，釋放纖維二糖。這類酵素對晶體 cellulose 的貢獻很重要，因為高度排列的纖維素區域不容易被內切型酵素完全打開，需要能沿著鏈端持續作用的蛋白來推進轉化 [7]。

在生質糖化情境中，這種逐步釋放的過程會受到固液混合、底物濃度、木質素吸附與產物累積影響。若纖維二糖無法被後段 β -glucosidase 及時轉化，前段酵素可能受到抑制，導致糖化速度下降 [8]。

3. β -glucosidase 完成葡萄糖釋放並降低抑制

β -glucosidase 是 cellulase 系統中常被低估的一環。它將纖維二糖轉為葡萄糖，既提高可發酵糖比例，也降低纖維二糖對 endoglucanase 與 cellobiohydrolase 的回饋抑制；Trichoderma 來源 β -glucosidase 的研究常被用來說明此協同架構在生物技術中的重要性 [1]。

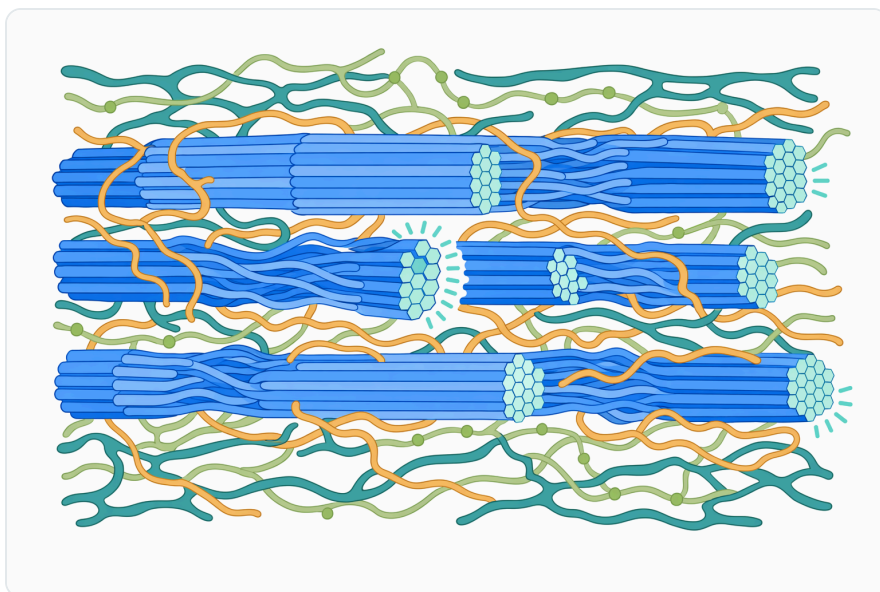


Figure 1. 纖維素難以加工，因為 β -1,4-葡萄糖鍵會緊密排列成微纖維，且常嵌埋在混合的植物細胞壁基質中。

因此，當使用者比較不同 cellulase product 時，不宜只把焦點放在單一 cellulase unit 或總活性標示。不同產品可能在內切、外切與 β -glucosidase 的相對比例上不同，而這些比例會直接影響紡織表面處理、果汁澄清或生質糖化的實際表現。

原料限制：為什麼有 cellulose 不代表一定容易水解

天然木質纖維素材料並不是單純的 cellulose。植物細胞壁中，纖維素微纖維被半纖維素包覆，並與木質素形成物理與化學障礙；木質素還可能非生產性吸附 cellulase，使酵素停留在無法有效水解的位置，降低有效反應量 [9]。

這就是為什麼農業殘渣、油棕葉、香蕉假莖、小麥麩皮等原料常需要前處理或搭配多酵素系統。多篇固態或液態發酵研究使用農副產物作為 cellulase 生產與應用基質，顯示原料來源、含水狀態與結構組成會顯著影響可得酵素表現與後續水解效率 [10]。

在某些情境下，非催化蛋白、界面活性劑或輔助酵素可降低木質素造成的抑制，或改善酵素在固體表面的有效作用。這不代表任何助劑都能通用，而是提醒使用者：cellulase cellulose 反應本質上是固液界面反應，吸附與脫附常與化學水解同等重要 [11]。

產業應用：cellulase application 的具體價值

紡織：生物拋光、棉纖維表面修飾與牛仔布石洗

在紡織加工中，cellulase 可用於棉布生物拋光與牛仔布水洗。其作用不是把整條纖維完全分解，而是控制性移除表面微纖維與毛羽，讓布面更平滑、手感更柔軟，並可降低傳統浮石石洗產生的固體廢棄物與機械磨耗 [12]。

研究也顯示，細菌來源 cellulase 對棉纖維的作用可改變纖維表面特性，但操作條件若不適配，可能造成強力損失或過度水解。因此，紡織用途重點在「表層選擇性」與「時間控制」，而不是追求越強的水解越好 [13]。

對成衣廠、染整廠或布料後整理流程而言，cellulase enzyme 的價值通常體現在布面一致性、毛羽控制、觸感改善與廢棄物減量。若與染色或柔軟整理銜接，還需注意殘留化學品、鹽分、表面活性劑與浴比對酵素穩定性的影響。

食品與果汁：提高出汁、澄清與過濾效率

在水果與植物性食品加工中，纖維素是細胞壁支架的一部分。cellulase 與果膠酶、半纖維素酶等搭配時，可協助破壞細胞壁網絡，使果汁更容易釋出，並降低懸浮固形物造成的過濾阻力 [14]。

這類應用常見於熱帶水果、漿果、蔬果萃取液與植物萃取製程。cellulase 的效益不只在增加液體產率，也可能改善澄清速度、降低黏度與縮短後續過濾時間；但風味、色澤、濁度與機能性成分保留，仍取決於整體酵素組合與製程條件 [14]。

食品應用需要特別區分「技術原理」與「產品適用性」。並非所有工業用 cellulase 都適合食品製程；使用者應依自身法規、品管制度與產品標示要求，選擇符合用途的供應形式與文件。

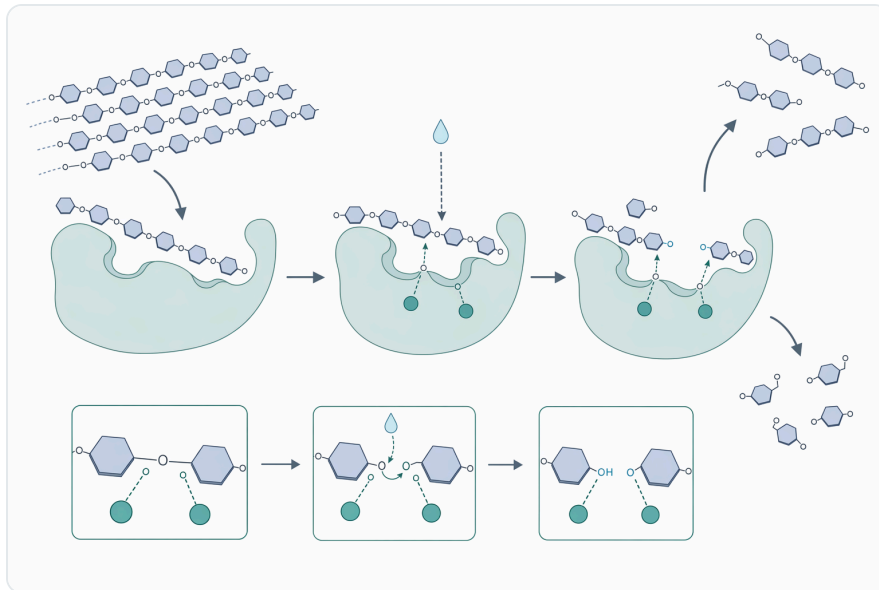


Figure 2. 纖維素酶的作用過程包括與表面結合、切割鏈內部、處理鏈末端，以及將短片進一步轉化為葡萄糖。

生質能與生物煉製：把前處理後的纖維素轉為可發酵糖

生質酒精與生物基化學品製程常把秸稈、蔗渣、木質纖維或其他農業殘渣作為碳源。前處理的任務是打開木質纖維素結構，而 cellulase 則負責把暴露出的 cellulose 水解成可發酵糖，提供酵母或細菌進一步轉化 [8]。

此領域的挑戰在於成本與轉化率平衡。酵素用量、基質固含量、糖抑制、木質素吸附與混合能耗都會影響經濟性；因此，研究常聚焦於更耐熱、更耐抑制物、更適合特定原料的 robust cellulase，或以蛋白工程調整酵素在嚴苛製程中的表現 [7]。

近年也有來自宏基因體或重組表現系統的新型 cellulase 研究，目標是提升結晶纖維素降解能力或擴大溫度、pH 作業彈性。這些成果對研發有啟發性，但在商業使用時仍需回到具體原料與製程驗證，不能直接視為所有產品都具備相同表現 [15]。

紙漿、再生紙與纖維材料處理

紙漿與再生紙製程中，cellulase 可改變纖維表面、協助脫墨、改善漿料排水或降低部分機械精煉負荷。其效果通常來自對微纖維與細小纖維組分的控制性水解，而不是大規模破壞纖維主體 [12]。

此應用需要兼顧紙力、排水性、濾水性與最終紙張品質。若作用過度，可能損失纖維長度或降低強度；若作用不足，則不易看到明顯改善。因此，紙漿應用常將 cellulase 視為製程調整工具，而非單獨決定品質的添加物。

飼料與農副產物利用

在飼料與農副產物利用中，cellulase 的目標是降低植物細胞壁屏障，使內部澱粉、蛋白質或可發酵碳水化合物更容易被釋放。它常與 xylanase、 β -glucanase、pectinase 等組成多酵素配方，對高纖維原料尤其有意義 [2]。

然而，動物飼料中的效果與物種、年齡、腸道環境、原料粒徑、配方組成及熱加工條件有關。cellulase 本身不等同於保證提高生長表現；它較合理的定位，是協助改善原料可利用性與降低非澱粉多醣造成的限制。

生產來源與市場命名：真菌、細菌與商品搜尋詞的差異

工業 cellulase 常見來源包括 Trichoderma、Aspergillus、Bacillus、Paenibacillus、Caulobacter 等真菌或細菌系統。Trichoderma reesei 是研究與工業酵素生產中經典模式菌，其分泌纖維素酶能力與調控機制長期受到關注 [16]。

細菌來源 cellulase 則常因生長快速、耐環境壓力或具有特殊酵素特性而被研究。以 cellulase bacteria 為關鍵字搜尋時，會看到許多來自土壤、堆肥、海洋或極端環境的菌株報告；這些研究有助於發現新酵素，但不代表每個菌株都已形成穩定商業產品 [4]。

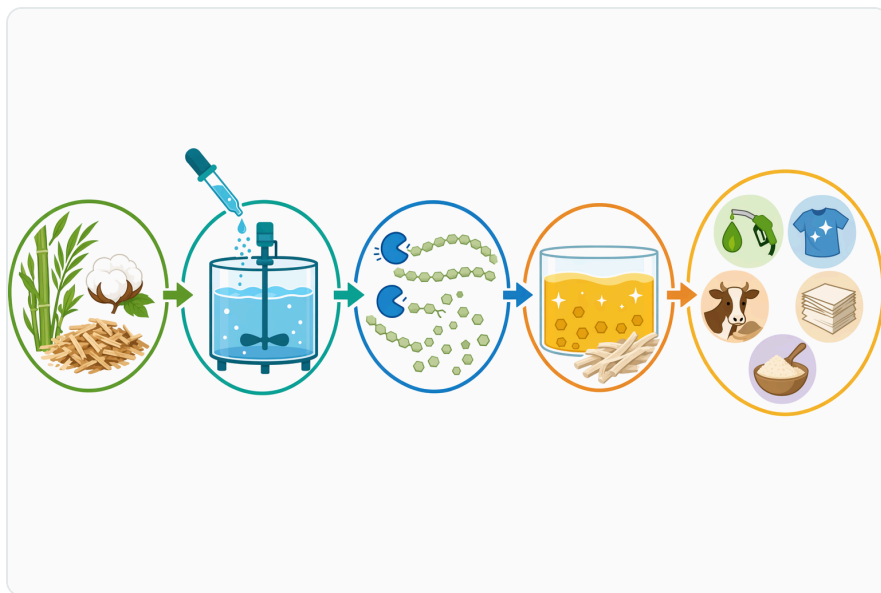


Figure 3. 在棉織物的生物拋光與織物護理中，纖維素酶會削弱表面原纖維，使機械作用能去除毛羽，同時保持纖維主體完整。

市場上常見的搜尋詞如 cellulase sigma、novozymes cellulase、cellulase ap3，通常反映使用者正在比較品牌、型號、用途或既有文獻中的試劑名稱。對採購與製程端而言，重點不是名稱相似，而是產品用途、劑型、文件、相容條件與實際流程表現是否符合需求。

影響 cellulase activity 的關鍵條件

cellulase activity 會受到 pH、溫度、水分、鹽分、抑制物、金屬離子、界面活性劑、基質結晶度與混合效率影響。尤其在固體纖維素水解中，酵素必須先吸附到可作用表面，才可能發生催化反應；因此，攪拌不足或基質團聚會讓表觀效率降低 [3]。

pH 與溫度不是越高越好，而是要落在酵素結構可維持與基質可被打開的平衡區間。近年有研究探討深共熔溶劑環境下 cellulase 的結構穩定與高溫維持能力，顯示製程介質本身也可能影響酵素折疊與催化表現 [17]。

「cellulase unit」在技術文件中常被用來描述活性，但不同供應來源與應用領域可能採用不同基質與條件，因此不宜把不同文件中的數字直接橫向比較。更務實的做法，是把活性標示視為文件資訊之一，並結合實際基質、停留時間與目標品質判斷。

與 xylanase 和輔助蛋白的協同：為何單用 cellulase 有時不夠

許多植物原料同時含有 cellulose 與 hemicellulose，其中木聚糖是半纖維素重要組分之一。xylanase 能打開木聚糖網絡，增加 cellulase 接觸纖維素的機會；因此，在農副產物、生質糖化與飼料處理中，cellulase 與 xylanase 的協同常比單用 cellulase 更有效 [2]。

另外，非催化蛋白或輔助因子可能透過改變木質素吸附、鬆動細胞壁或保護已吸附的酵素，減少無效結合與活性損失。相關綜述指出，這類策略可改善木質素抑制問題，但效果依原料與製程而異，仍需避免把特定研究結果泛化到所有配方 [9]。

這也說明了為何生物煉製與農業殘渣利用常被稱為「酵素雞尾酒」設計，而不是單一 cellulase 添加。真正影響總糖產率與處理成本的，是多種酵素在同一基質上的空間、時間與濃度協同。

Enzymes.bio 供應定位與購買情境

Enzymes.bio 是酵素供應商，不是製造商，也不是實驗室；其角色是提供可在線上購買的 cellulase 產品與隨訂單提供的文件支援。產品以 1 kg 單位直接銷售，適合需要在既有流程中評估 cellulase application 的 B2B 使用者；CoA 與 SDS 會隨訂單一併提供，方便內部品管、倉儲與安全管理使用。

對正在比較 cellulase price per kg 的買方而言，價格只是導入成本的一部分。更完整的成本觀點應包含處理時間、能耗、原料差異、失敗批次風險、後段過濾或清洗負荷，以及產品品質改善幅度；同樣重量的 cellulase product，若用途與製程不匹配，未必能得到相同經濟效益。

由於 Enzymes.bio 不進行現場製程開發或實驗室測試，本文聚焦於公開研究與應用機制的整理，而不是宣稱特定批次具有研發等級、食品等級或某種分析方法下的保證表現。實際使用仍應以產品頁資訊、隨貨文件與買方自身流程條件為準。

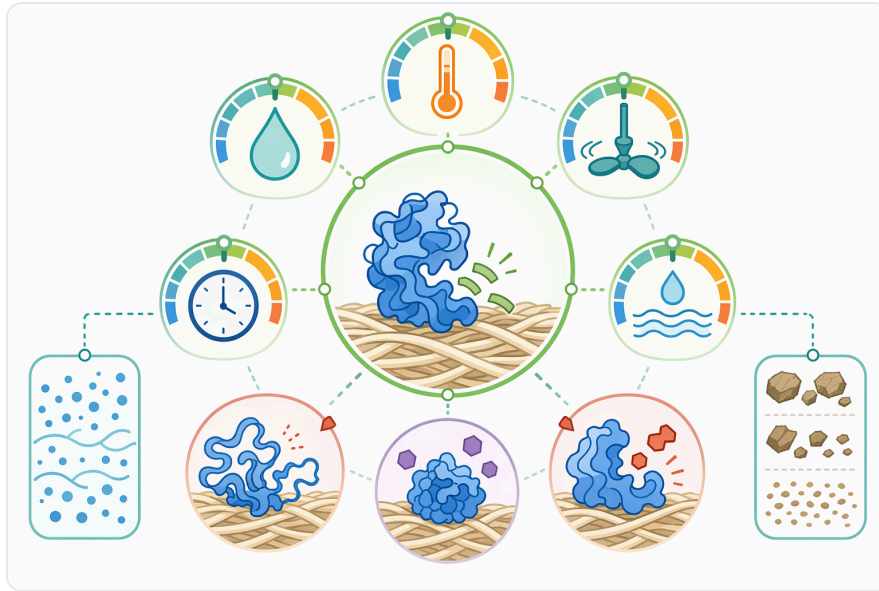


Figure 4. 纖維素酶的表現取決於酶的來源、基質可及性、pH 值、溫度、水分、接觸時間、攪拌混合，以及浴液中具抑制或促進作用的成分。

導入 cellulase 時的技術判讀重點

首先，確認基質本身是否真的以 cellulose 限制流程。若主要瓶頸是果膠、澱粉、蛋白質或油脂，單用 cellulase 可能不是最有效方向；若基質是棉、紙漿、秸稈、果渣或其他植物細胞壁材料，cellulase 才更可能成為關鍵工具 [14]。

其次，評估材料結構是否阻礙酵素接觸。高結晶纖維素、木質素含量高或粒徑過大的原料，可能需要前處理、混合改善或多酵素協同；研究顯示，固體基質與酵素之間的界面作用，往往決定水解速率與最終轉化 [3]。

第三，將效果目標具體化。紡織要的是表面毛羽降低與手感改善，果汁要的是出汁與澄清，生質糖化要的是可發酵糖，紙漿要的是排水、脫墨或能耗改善；不同目標對 cellulase function 的需求不同，不能以同一種性能指標概括。

證據強度：成熟應用與仍需條件驗證的領域

紡織生物拋光、牛仔布處理、生質糖化與果汁加工，是 cellulase 文獻與產業應用中相對成熟的方向。這些領域已有大量研究說明纖維素水解、表面改質或細胞壁破壞如何轉化為加工效益 [12]。

生物煉製中的 cellulase 也有強烈科學基礎，但商業成敗高度依賴原料物流、前處理成本、酵素成本與後續發酵整合。換言之，cellulase 能水解 cellulose 是確立事實；能否在特定工廠達到理想單位成本，則是工程與經濟問題 [8]。

較具條件性的領域包括複合廢棄物快速降解、塑膠複材或高度木質化殘渣的單一步驟處理。相關研究顯示 cellulase 可能參與材料轉化或與微生物群共同作用，但其效果通常受基質組成與環境條件高度影響，不能簡化為「添加 cellulase 即可快速分解所有纖維廢棄物」 [18]。

結論：cellulase 的價值在於把纖維素屏障轉為可控製程變數

Cellulase 是連接植物纖維材料與工業加工的重要酵素系統；它透過 endo-cellulase、外切型纖維素酶與 β -glucosidase 的協同，把纖維素屏障轉化為可萃取、可過濾、可發酵或可表面修飾的材料狀態。對紡織、果汁、紙漿、生質糖化、飼料與農副產物利用而言，真正的價值在於讓原本難處理的 cellulose 變成可被流程管理的變數。

在 B2B 決策中，cellulase 不應只以品牌名稱、cellulase price per kg 或單一活性標示判斷，而應放回基質、流程、品質目標與總成本中評估。Enzymes.bio 作為供應商提供 1 kg 線上購買與隨訂單文件支援；使用者可依自身製程需求，將 cellulase 視為改善纖維素相關瓶頸的技術工具，而非萬用添加物。

線上訂購 Cellulase

以 1 kg 單位販售，現貨供應，可立即出貨。請直接於我們的線上商店下單並付款，我們將為您處理訂單。每筆訂單皆附分析證明書與安全資料表。

[購買 Cellulase →](#)

參考文獻

依首次引用順序編號。所有來源皆為開放取用資料，並於發布時確認可連線；正文中的引用編號會連結至此。

1. Tiwari, P, Misra, B. N., & Sangwan, N. (2013). β -Glucosidases from the Fungus *Trichoderma*: An Efficient Cellulase Machinery in Biotechnological Applications. *BioMed Research International*, 2013.
2. Bajaj, P., & Mahajan, R. (2019). Cellulase and xylanase synergism in industrial biotechnology. *Applied Microbiology and Biotechnology*, 103, 8711 - 8724.
3. Gilbert, I. G., & Tsao, G. T. (1983). Interaction between solid substrate and cellulase enzymes in cellulose hydrolysis.

4. Sadhu, S., & Maiti, T. (2013). Cellulase production by bacteria: a review. *British microbiology research journal*, 3, 235-258.
5. Molina, G. A., Schaller, K. S., Kari, J., Schiano-Cola, C., Peters, G. H., Borch, K., & Westh, P. (2024). Interrelationship of Substrate Crystallinity, Enzyme Binding Strength, and Cellulase Activity. *bioRxiv*.
6. Ezaki, T., Nishinari, K., Samejima, M., & Igarashi, K. (2019). Bridging the Micro-Macro Gap between Single-Molecular Behavior and Bulk Hydrolysis Properties of Cellulase. *Physical Review Letters*, 122 9, 098102 .
7. Contreras, F., Pramanik, S., Rozhkova, A., Zorov, I., Korotkova, O., Sinitsyn, A., Schwaneberg, U., ... et al. (2020). Engineering Robust Cellulases for Tailored Lignocellulosic Degradation Cocktails. *International Journal of Molecular Sciences*, 21.
8. Ogeda, T. L., & Petri, D. F. S. (2010). Hidrólise enzimática de biomassa. *Química Nova*, 33, 1549-1558.
9. Madadi, M., Song, G., Sun, F., Sun, C., Xia, C., Zhang, E., Karimi, K., ... et al. (2022). Positive role of non-catalytic proteins on mitigating inhibitory effects of lignin and enhancing cellulase activity in enzymatic hydrolysis: Application, mechanism, and prospective. *Environmental Research*, 114291 .
10. Ezeilo, U., Wahab, R., & Mahat, N. (2020). Optimization studies on cellulase and xylanase production by Rhizopus oryzae UC2 using raw oil palm frond leaves as substrate under solid state fermentation. *Renewable Energy*, 156, 1301-1312.
11. Yang, M., Zhang, A., Liu, B., Li, W., & Xing, J. (2011). Improvement of cellulose conversion caused by the protection of Tween-80 on the adsorbed cellulase. *Biochemical Engineering Journal*, 56, 125-129.
12. Korsá, G., Konwarh, R., Masi, C., Ayele, A., & Haile, S. (2023). Microbial cellulase production and its potential application for textile industries. *Annals of Microbiology*, 73, 1-21.
13. Uğraş, S., Bicen, H. E. I., & Emire, Z. (2024). Determination of Cellulase Enzyme Produced by Bacillus cereus DU-1 Isolated from Soil, and Its Effects on Cotton Fiber. *Brazilian Archives of Biology and Technology*.
14. Hassan, H. M., Awang, M. A., Aziz, A. A., Prihanto, A. A., Jaziri, A., & Amin, S. F. M. (2026). A Review on the Optimisation of Enzymatic Treatment in Tropical Fruit Juice: Impacts on Physicochemical and Functional Properties. *Pertanika Journal of Tropical Agricultural Science*.
15. Adab, F. K., Yaghoobi, M. M., & Gharechahi, J. (2024). Enhanced crystalline cellulose degradation by a novel metagenome-derived cellulase enzyme. *Scientific Reports*, 14.
16. Druzhinina, I. S., & Kubicek, C. (2016). Familiar Stranger: Ecological Genomics of the Model Saprotroph and Industrial Enzyme Producer Trichoderma reesei Breaks the Stereotypes. *Advances in Applied Microbiology*, 95, 69-147 .
17. Yadav, N., Chahar, D., Bisht, M., & Venkatesu, P. (2023). Assessing the compatibility of choline-based deep eutectic solvents for the structural stability and activity of cellulase: Enzyme sustain at high temperature. *International Journal of Biological Macromolecules*, 125988 .
18. Krishnaswamy, V., Sridharan, R., Kumar, P., & Fathima, M. (2021). Cellulase enzyme catalyst producing bacterial strains from vermicompost and its application in low-density polyethylene degradation. *Chemosphere*, 132552 .


聯絡 Enzymes.bio

對訂單有疑問嗎？我們的團隊很樂意協助。


電子郵件 wholesale@enzymes.bio

電話（美國） **+1 (507) 428-6057**

[聯絡我們 →](#)

 **400+** B2B 客戶

 **60+** 大學研究合作夥伴

 **54** 服務遍及全球

© 2026 Enzymes.bio · 工業與食品加工用酵素供應 · 非供人體食用或零售銷售。